

SUPERCONDUCTIVE NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE DEVICE

Patent Number: JP60187007
Publication date: 1985-09-24
Inventor(s): MATSUMOTO TOSHIMI; others: 02
Applicant(s): HITACHI SEISAKUSHO KK
Requested Patent: JP60187007
Application Number: JP19840042074 19840307
Priority Number(s):
IPC Classification: H01F7/22; B23K35/30; G01N24/06; G01R33/22
EC Classification:
Equivalents: JP1682933C, JP3045889B

Abstract

PURPOSE:To obtain a uniform magnetic field by preparing a spool on which a superconductive coil is wound and a vessel, in which a cryogenic liquid is stored, by austenite group stainless steel, permeability thereof is specified.
CONSTITUTION:An electromagnet used for a superconductive nuclear magnetic resonance device for photographing a tomogram for the human body is constituted by a spool on which a super conductive coil is wound and a vessel in which a cryogenic liquid is stored. In this case, these spool and vessel are prepared by austenite group stainless steel, and a composition of the austenite group stainless steel and deposited metals is prescribed so that permeability in field strength of 0.5 tesla at 4.2 deg.K is brought to 1.01 or less. That is, the materials of not more than 0.08% C, 0.1-1.5% Si, 1-10% Mn, 9-17% Ni, 17-25% Cr, 0.5-3% Mo, not more than 0.2% N and Fe as the remainder, which are all represented by wt% are used as mother materials for the stainless steel. The materials of not more than 0.1% C, 0.1-0.5% Si, 5-10% Mn, 12-17% Ni, 17- 19% Cr, 0.5-3% Mo and Fe as the remainder are employed as the deposited metals.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

⑫ 公開特許公報(A)

昭60-187007

⑤ Int. Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

④ 公開 昭和60年(1985)9月24日

H 01 F 7/22
B 23 K 35/30
G 01 N 24/06
G 01 R 33/22

6969-5E
7362-4E
7621-2G
7621-2G

審査請求 未請求 発明の数 1 (全11頁)

⑭ 発明の名称 超電導核磁気共鳴装置

⑰ 特 願 昭59-42074

⑱ 出 願 昭59(1984)3月7日

⑲ 発 明 者 松 本 俊 美 日立市幸町3丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

⑲ 発 明 者 佐 藤 宏 日立市幸町3丁目1番1号 株式会社日立製作所日立研究所内

⑲ 発 明 者 上 田 和 彦 日立市幸町3丁目1番1号 株式会社日立製作所日立工場内

⑳ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

㉑ 代 理 人 弁理士 高橋 明夫 外2名

明 細 書

発明の名称 超電導核磁気共鳴装置

特許請求の範囲

1. 巻棒に巻回された超電導コイルを収納する容器を備え、該容器内に極低温の液体を貯蔵する構造を有する超電導核磁気共鳴装置において、前記巻棒及び容器はオーステナイト系ステンレス鋼からなる母材が溶着金属によつて接合された溶接構造を有し、前記母材及び溶着金属が4.2 Kでの0.5テスラの磁界強さにおける透磁率が1.01以下である化学組成に調整されていることを特徴とする超電導核磁気共鳴装置。

2. 前記溶着金属は前記母材からの希釈のない部分の溶着金属のNi含有量は重量で17%以下であり、さらにその化学組成が、Ni当量=Ni(重量%)+30×C(重量%)+0.5×Mn(重量%)およびCr当量=Cr(重量%)+1.5×Si(重量%)+Mo(重量%)とするとき、Ni当量 \geq -(0.81×Cr当量)+34を満足し、前記溶着金属の組織は完全オーステナイ

ト組織である特許請求の範囲第1項に記載の超電導核磁気共鳴装置。

3. 前記母材は、重量でC:0.08%以下、Si:0.1~1.5%、Mn:1~10%、Ni:9~17%、Cr:17~25%と、Mo:0.5~3%およびN:0.2%以下の1種以上を含み、残部はFeからなるものであり、さらに前記溶接材料による溶着金属は、前記金属部材からの希釈のない部分において、重量でC:0.1%以下、Si:0.1~0.5%、Mn:5~10%、Ni:12~17%、Cr:17~19%、Mo:0.5~3%を含み、残部はFeからなるものである特許請求の範囲第1項又は第2項に記載の超電導核磁気共鳴装置。

発明の詳細な説明

〔発明の利用分野〕

本発明は新規な断層写真法のための超電導核磁気共鳴装置に係わり、特に4.2 Kでの磁界強さ0.5 T以上で透磁率1.01以下のオーステナイト系ステンレス鋼からなる金属部材を溶接によつて

製造してなる超電導コイル用ボビン、前記超電導コイルおよび前記ボビンを冷却保持する液体He容器に関する。

〔発明の背景〕

断層写真法のための核磁気共鳴装置は特開昭58-1437にて知られている。この装置におけるコイル巻棒材としてAl又は真ちゆうのような非磁性材が使用されることが記載されている。これらの材料に代え、発明者らはステンレス鋼の適用を検討した。

従来、4.2°Kで使用する金属材料としてオーステナイト系ステンレス鋼があり、その溶接における溶接材料としてJISに規定されるD308, D308L, D316, D316L系の溶接棒あるいは溶接ワイヤがある。これらの溶接材料は溶接部の高温割れを防止するために、通常、溶着金属にデルタ・フェライトが数%以上晶出するように成分調整されている。

デルタ・フェライトは強磁性体であり、高精度の磁場を必要とする超電導核磁気共鳴装置にお

る超電導コイル用ボビンおよび超電導コイルとボビンを冷却保持する液体He容器の溶接部に、デルタ・フェライトが存在することは好ましくない。さらに、前記超電導コイル用ボビンおよび前記液体He容器を構成するオーステナイト系ステンレス鋼金属材料とその溶接材料による溶着金属がいずれも完全オーステナイト組織であつても、これらの金属に含まれるNi含有量によつてこれらの透磁率が高くなるという問題があることを見出した。

〔発明の目的〕

本発明の目的は、4.2°Kでの磁界強さが0.5 T以上で均一な磁界を形成する超電導核磁気共鳴装置を提供するにある。

〔発明の概要〕

本発明は、巻棒に巻回された超電導コイルを収納する容器を備え、該容器内に極低温の液体を貯蔵する構造を有する超電導核磁気共鳴装置において、前記巻棒及び容器はオーステナイト系ステンレス鋼からなる母材が溶着金属によつて接合され

た溶接構造を有し、前記母材及び溶着金属が4.2°Kで0.5 テスラ（以下Tと略記する）の磁界強さにおける透磁率が1.01以下である化学組成に調整されていることを特徴とする超電導核磁気共鳴装置にある。

母材は、重量でC: 0.08以下、Si: 0.1~1.5%、Mn: 1~10%、Ni: 9~17%、Cr: 17~25%と、Mo: 0.5~3%及びN: 0.2%以下の1種以上を含み、残部が実質的にFeからなり、全オーステナイト組織を有するものが好ましい。溶着金属は母材からの希釈のない部分の化学組成を示すもので、重量でC: 0.1%以下、Si: 0.1~0.5%、Mn: 5~10%、Ni: 12~17%、Cr: 17~19%、Mo: 0.5~3%を含み、残部がFeからなり、以下の式から導かれるNi当量(1)とCr当量(2)との関係が(3)式を満足するものが好ましい。

$$\text{Ni 当量} = \text{Ni (重量\%)} + 3.0 \times \text{C (重量\%)} + 0.5 \times \text{Mn (重量\%)} \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{Cr 当量} = \text{Cr (重量\%)} + 1.5 \times \text{Si (重量\%)} \quad \dots\dots(2)$$

$$+ \text{Mo (重量\%)} \quad \dots\dots(2)$$

$$\text{Ni 当量} \geq 3.4 - (0.81 \times \text{Cr 当量}) \quad \dots\dots(3)$$

前記溶着金属の組織は完全オーステナイト組織からなるものが好ましい。

即ち、本発明者らは、オーステナイト系ステンレス鋼が完全オーステナイト組織であつても、Ni含有量の多いものでは、4.2°Kでの透磁率が高くなることを見出した。通常、透磁率は低温となる程高い値となるが、Niはもともと強磁性体であるので、その含有量が多くなると、完全オーステナイト組織のものであつても4.2°Kでの透磁率が高くなるのである。超電導核磁気共鳴装置にあつては、高精度の均一磁場を必要とするものであり、4.2°Kに保持される母材及び溶接部には、この温度で磁界強さ0.5 T以上における透磁率が1.01以下であることが必要である。これは母材及び溶接部としてオーステナイト系ステンレス鋼のNi含有量が17%以下のとき達成されることを見出した。

さらに、窒素を固溶させることにより低温における降伏強さを高めたオーステナイト系ステンレ

ス鋼を母材として適用すると、構造物の薄板化による磁化を凶ることができ、溶着金属の低温における降伏強さを前記構造物材より高めるのは困難である。降伏強さの高い母材をこれより降伏強さの低い溶着金属を用いて溶接により製造された溶接構造物においては、その溶着金属に選択的に塑性変形が発生することがある。低温でこのような塑性変形が発生すると、製造時に完全オーステナイト組織の溶着金属であつても加工誘起変形によりマルテンサイト組織を生じ、溶着金属の透磁率が高くなる結果となる。そこで、本発明者は、完全オーステナイト組織の溶着金属に選択的に、4.2 Kで塑性変形が発生したとしてもマルテンサイト組織を発生しない溶着金属の化学組成を見出したものである。

Cはオーステナイト組織形成元素であり、オーステナイト組織の安定化にも効果があるが、0.1%を超えると4.2 Kでの靱性を損うので、0.1%以下が好ましい。特に、母材においては溶接熱影響部の結晶粒界に炭化物を析出し、この部分の耐

めに、1~2%とするのがよい。

Niは鋼にオーステナイト組織を形成させる主要添加元素であるが、17%を超えて添加すると、4.2 Kでの透磁率が高くなる。母材においては、オーステナイト系ステンレス鋼としての製造時に溶体化処理が可能であるので、9~17%が好ましい。特に好ましくは10~14%である。溶着金属においては、前述したように4.2 Kで溶着金属に選択的に塑性変形が発生してもマルテンサイト変態を誘起することなく、低い透磁率を保持させるために、Niの含有量は他の添加元素と関連して前述の(3)式を満足するように選ぶことが好ましいが、その範囲は12~17%である。

Crは鋼に耐食性を与える主要添加元素であり、17%以上の添加で効果があるが、オーステナイト組織の安定化にも効果があるが、一方、フェライト組織を形成させる添加元素である。

母材においては、オーステナイト系ステンレス鋼としての製造時に溶体化処理が可能であるので、17~25%が好ましいが、特に好ましくは17

食性が低下するのを防止するために、0.08%以下とするのが好ましい。

Siは脱酸元素として0.1%以上の添加により効果を示すが、フェライト組織形成元素であり、完全オーステナイト組織の溶着金属を作るために0.1~0.5%が好ましい。特に、溶着金属では0.25~0.35%とするのが好ましい。母材ではオーステナイト系ステンレス鋼板としての製造時に溶体化処理が可能であるので、脱酸元素として0.1~1.5%添加してもよいが、金属間化学物の析出を促進する性質をもつので、特に0.3~1%とするのが好ましい。

Mnは本発明において重要なオーステナイト組織形成元素である。溶着金属では溶接高温割れを抑制する元素として5%以上の添加が効果があるが、10%を超えると4.2 Kでの靱性を損うので、5~10%とするのが好ましい。金属部材においては熱間加工性を促進し、溶接熱影響部における高温割れを抑制するために1~10%とする。特に好ましくは、母材の孔食特性を劣化させないた

~20%である。溶着金属においては、19%を超えるとデルタ・フェライトを発生し、4.2 Kでの透磁率が高くなるので、17~19%とするのが好ましい。

Moは耐孔食性を高め、溶接高温割れを抑制するのに効果がある。0.5%以上の添加で効果があるが、一方、フェライト組織を形成させる元素であるので、母材および溶着金属のいずれにおいても0.5~3%とするのが好ましい。

Nはオーステナイト組織を安定化させ、4.2°Kでのオーステナイト系ステンレス鋼の降伏強さを著しく向上させる。しかし、0.2%を超えると、溶着金属にブローホールを生じ易くなるので、母材では0.2%以下とするのが好ましい。溶着金属には、ブローホールの原因となるので、故意に添加するのは避けるのが好ましい。

第1図は本発明の一例を示す超電導核磁気共鳴装置システムの斜視図である。人間を載せた患者テーブル1は超電導磁石2の中に入れられ、コンソール3によつて操作され、画像処理用コンピュ

ータ4によつてテレビ画面5に写し出される。

超電導磁石2は一例として第2図に示す断面構成を示す。

第2図に示した電磁石装置は、円筒型の界磁コイル11およびその端部に配設された補正コイル12および13を有している。該補正コイル12および13は、界磁コイル11を同心的に囲むように設けられている。コイル11ないし13は、円筒状外殻14により間隔をあけて囲まれている。円筒状外殻の長さLは円筒状コイル11の長さよりも若干大きい。コイル11ないし13は巻棒体16および17に巻回されている。巻棒体はスペーサ円板8により保持されており、かつ同時に円筒状外殻14に対して心出しされている。必要に応じ、環状円板15も保持および心出し機能を行なうようにすることができる。コイル部材16および17ならびにスペーサ円板18は非磁性材料から造られている。環状円板15の開口内には、さらに管状支持部材19が挿入されている。この管状支持部材の直径は円筒状コイル11の直径よ

りも若干小さい。円筒状外殻14の長さLおよび管状支持部材19の内径dは本質的に被検体の外寸ならびに磁界の所要の均質性によつて定まる。

人体の検査の場合には、上記のような寸法関係からして、第2図に示した電磁石装置の占有空間需要は比較的小さく、いずれにしても公知の双対ヘルムホルツ・コイル構造の占有空間需要よりも相当に小さい。

円筒状外殻14はスペーサ円板18と協同してコイル11ないし13を非常に確実にかつ正確に心出しして保持する。したがつてこれらコイル11ないし13は、温度変動に際して寸法が変動してもその位置関係を維持される。この組立体は完全に対称性であるからである。その結果として、磁界の均質性も維持され、補償手段は必要とされない。円筒状外殻14および環状円板15により外部磁界の帰還路が形成されているために、電力需要は著しく低減される。これは運転費用ならびに電磁石装置の安定性に対して有利である。同時に環状円板15および管状支持部材19の上記の

ような寸法関係によつて補正コイル12および13の作用を補完し、付加的に磁界の均質性を高めることができる。さらに、非常に厚膜の外殻は、磁界および電磁放射の外部漏洩ならびにNMR断層写真撮影に際して外殻内部で発生されるHF磁場の外部放射を阻止するのに非常に良好な遮へい作用をなす。さらに、電磁石装置の構造は非常に単純であり、最小の公差を維持しつつれん値に製作することが可能である。また、所要の冷却は液体He等で、巻棒体16および17と連結された冷却装置により供給される冷却媒体により行なうこともできるし、また、コイルの巻回に際して用いられた中空型材に直接冷媒を流すことにより行なうことができる。

〔発明の実施例〕

(実施例1)

第 1 表

記号	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ni当量	Cr当量
a	0.051	0.44	1.84	9.55	20.30	-	11.97	20.99
b	0.023	0.42	2.07	9.98	20.16	-	11.71	20.79
c	0.031	0.35	1.57	8.75	16.21	1.40	10.47	18.14
d	0.053	0.38	1.86	12.57	19.14	2.50	15.00	22.21
e	0.024	0.43	1.80	13.15	19.50	2.13	14.77	22.28
f	0.030	0.47	1.73	10.10	19.35	-	11.87	20.06
g	0.060	0.46	1.79	9.86	19.55	-	12.56	20.24
h	0.078	0.26	1.82	8.81	15.95	1.44	12.06	17.78
i	0.065	0.47	1.88	12.51	19.22	2.31	15.40	22.24
j	0.032	0.45	1.58	12.87	18.91	2.36	14.62	21.95
A	0.005	0.17	6.21	16.44	18.50	2.57	19.70	21.33
B	0.002	0.18	5.86	16.23	17.77	2.46	19.22	20.50
C	0.020	0.35	5.59	16.02	17.05	2.98	19.42	20.56
D	0.098	0.46	8.71	12.37	18.67	0.84	19.67	20.20
E	0.062	0.29	6.50	16.30	17.64	2.38	22.75	20.46
F	0.092	0.32	6.25	16.61	17.46	2.18	22.50	20.12
G	0.060	0.29	6.48	16.71	17.38	3.02	21.75	20.84

第1表に示す化学組成(重量%)の溶着金属を形成する溶接ワイヤおよび溶接棒を用いて、第2表に示す化学組成を有するSUS316LN鋼板(12×150×200mm)にTIG溶接および被覆アーク溶接した。化学組成の残部はFeである。TIG溶接では、シールドガスとして純度99.999%のアルゴンを8ℓ/min流し、電流120A、電圧10V、溶接速度15cm/minの条件で、60度のV開先に7層による突合せ溶接とした。被覆アーク溶接では、棒径4mmの溶接棒を用い、電流140A、電圧24V、溶接速度14cm/min、極性棒プラスの条件で、60度のV開先に4層による突合せ溶接とした。

第2表に実施例の突合せ溶接部に関し、金属部材による稀釈のない溶接部の表面側中心部の溶着金属におけるデルタ・フェライト量、室温および4.2Kでの各透磁率、並びに母材による稀釈の著しい溶接境界近傍の溶着金属における4.2Kでの透磁率を示す。デルタ・フェライトの測定は電気計測式のフェライトスコープを用い、比較用ワイ

ヤと比較用溶接棒を用いた突合せ溶接部の溶着金属における室温での透磁率の測定では磁石式のパーマビリティ・インジケータを用いた。本発明ワイヤと本発明用溶接棒を適用した突合せ溶接部の溶着金属における室温での透磁率は、極めて低く、磁石式のパーマビリティ・インジケータでは測定できないので、試料振動型磁力計を用いて測定した。4.2Kでの透磁率の測定にも試料振動型磁力計を用いた。この磁力計による測定値は磁界強度0.5Tのものであるが、0.5Tを超える磁界強度では磁化の飽和により、0.5Tでの値と同程度かあるいはそれ以下であつた。

第 2 表

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N
0.028	0.58	1.76	0.033	0.004	12.01	19.66	2.32	0.18

第3表によれば、比較用ワイヤと比較用溶接ワイヤを用いた突合せ溶接部の溶着金属には、デルタ・フェライトが1%以上含まれており、室温での透磁率も1.01より高く、4.2Kでの透磁率はさらに高くなることは明白であるから、特に4.2

°Kでの透磁率は測定しなかつた。本発明用ワイヤと本発明用溶接棒を用いた実合せ溶接部では、金属部材による希釈の著しい部分の溶着金属でも、希釈のない部分の溶着金属より若干4.2°Kでの透磁率が高くなるが、いずれも1.01以下であり優れた特性を示している。

第 3 表

記 号	中 心 部 の 溶 着 金 属			溶接境界部の溶着金属
	デルタ・フェライト (%)	透磁率 (室温)	透磁率 (4.2 K)	透磁率 (4.2 K)
a	8	1.6~2.5	—	—
b	8	"	—	—
c	4	1.2~1.6	—	—
d	5	"	—	—
e	6	"	—	—
f	8	1.6~2.5	—	—
g	4	1.2~1.6	—	—
h	1	1.10~1.15	—	—
i	4	1.2~1.6	—	—
j	5	"	—	—
A	0	1.0033	1.0079	1.0081
B	0	1.0029	1.0079	1.0082
C	0	1.0027	1.0060	1.0065
D	0	1.0026	1.0039	1.0041
E	0	1.0034	1.0083	1.0088
F	0	1.0034	1.0084	1.0085
G	0	1.0035	1.0088	1.0092
比較用ワイヤ				
比較用溶接棒				
本発明用ワイヤ				
本発明用溶接棒				

第3図は、第1表の溶接ワイヤおよび溶接棒による溶着金属のNi当量とCr当量を用いて、シェフラーの組織図に投じたものであるが、本発明用ワイヤと本発明用溶接棒による溶着金属が完全オーステナイト組織を呈することは明白である。図中()内の数値は4.2°Kでの磁界強さ0.5 Tにおける透磁率の測定値を示す。④はオーステナイト組織、①はフェライト組織、②はマルテンサイト組織である。

さらに、本実施例に適用したSUS316LN鋼板は溶接前に1100℃で1時間保持した後急冷して溶体化処理を実施して完全オーステナイト組織としたものであるが、その素材部と溶接熱影響部における透磁率を、室温および4.2°Kで試料振動型磁力計を用いて測定した。その結果、素材部と溶接熱影響部の透磁率は同等であり、磁界強さ0.5 T以上で、室温のとき1.0033および4.2°Kのとき1.0043であることが確認された。

第4表

記号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	$\mu(4.2K)$
S1	0.041	0.58	1.61	0.033	0.002	8.66	18.24	1.0039
S2	0.042	0.51	1.63	0.032	0.002	10.15	18.16	1.0045
S3	0.038	0.45	1.59	0.021	0.008	12.20	18.05	1.0053
S4	0.035	0.57	1.78	0.028	0.003	14.52	18.11	1.0065
S5	0.040	0.51	1.76	0.026	0.001	16.31	18.22	1.0080
S6	0.041	0.46	1.65	0.027	0.004	18.53	18.29	1.0134
S7	0.043	0.48	1.70	0.032	0.005	20.22	18.08	1.0162

第4表は、Ni含有量の異なるオーステナイト系ステンレス鋼を溶解して製作した後、1100℃で1時間保持したのち急冷することにより溶体化処理し、完全オーステナイト組織とした鋼材の化学組成(重量%)と4.2°Kでの磁界強さ0.5 Tにおける透磁率の測定値を示す。透磁率の測定は試料振動型磁力計によつたが、いずれの鋼材の透磁率も0.5 Tを超える磁界強さでは、磁化の飽和により、0.5 Tでの値と同程度あるいはそれ以下であつた。

第4図は第4表に示した実験結果を用いて、鋼材に含有されるNi量(重量%)と4.2°Kでの透磁率の関係を示す。第2図によれば、4.2°Kでの0.5 T以上における透磁率を1.01以下とするには、Niを17%以下としなければならない。本実施例に適用したSUS316LN鋼板および本発明用ワイヤと本発明用溶接棒による溶着金属のNi量はいずれも17%以下であり、上述の条件を満足するものである。

第5表

記号	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Ni当量	Cr当量	引張切断後のマルテンサイト量(%)
W1	0.062	0.49	1.93	14.76	18.61	2.07	17.59	21.42	2.6
W2	0.064	0.34	4.86	14.32	17.82	2.45	18.67	20.78	1.4
W3	0.062	0.33	6.82	14.34	18.26	1.03	19.61	19.79	1.3
W4	0.062	0.29	6.50	16.30	17.64	2.38	21.41	20.46	0
W5	0.099	0.33	6.71	14.65	18.72	1.01	20.98	20.23	0
W6	0.057	0.35	6.75	14.66	18.27	1.02	19.71	19.82	0.6
W7	0.051	0.25	4.54	15.61	16.37	3.08	19.41	19.83	0.6
W8	0.054	0.29	6.14	15.28	17.45	3.07	19.97	20.96	0

第5表は、完全オーステナイト系ステンレス鋼の溶接棒を用いて、被覆アーク溶接して得られた溶着金属における化学組成、前述した式によるNi当量とCr当量および4.2 Kで引張破断後のマルテンサイト量を示す。引張試験は、4.2 Kで行ない、直径4.5 mmで平行部長さ20 mmの試験片を用いたが、いずれも30～40%の伸びを呈したマルテンサイト量は引張破断後の試験片の一樣伸び部において、電気計測式のフェライトスコープを用いて測定したものである。

第5図は第5表の溶着金属のNi当量とCr当量を用いて、シェフラーの組織図に表わしたものである。()内の数値は4.2 Kで引張破断後のマルテンサイト量の測定値を示す。Lは4.2°K引張試験でのマルテンサイト発生限界を示す線である。オーステナイト系ステンレス鋼は、通常、低温で塑性変形させると加工誘起変態によるマルテンサイト組織を生ずる。しかし、4.2 Kでの引張破断によつて30～40%の伸びを生じて、マルテンサイト組織を発生しない限界線として、直線L

$$\text{Ni当量} \geq -(0.81 \times \text{Cr当量}) + 34$$

本実施例に適用した第1表の本発明用ワイヤと本発明用溶接棒による溶着金属の化学組成はいずれも上述の条件を満足するものである。

(実施例2)

第6図は超電導核磁気共鳴装置の超電導コイル用ボビンにおける本発明の実施例を示す。胴体用金属部材21には、第6表に示す化学組成を有するSUS316LN鋼板を用い、第1表の本発明用溶接棒Eを用い、電流140 A、電圧24 V、溶接速度14 cm/mm、極性棒プラスの条件で、60度のX開先に被覆アーク溶接により11層の突合せ溶接を行なつて溶着金属22を形成した。

第 6 表

C	Si	Mn	P	S
0.019	0.51	0.85	0.026	0.001
Ni	Cr	Mo	N	Fe
11.00	17.88	2.61	0.18	残部

先ず、板厚25 mmの前記SUS316LN鋼板を室温での塑性加工により、直径約1 mで長さ約

が見出された。金属部材においては、4.2 Kでの降伏強さを窒素の添加によつて容易に向上させることができるが、溶着金属ではブローホールの発生が問題となり窒素添加による上述の如き降伏強さの向上を図ることができない。従つて、窒素添加により強化された金属部材を用いて軽量化を図り、溶接構造物を製作すると、過大な応力が作用した場合、溶着金属に過度的に塑性変形を生ずることがある。この塑性変形によつてマルテンサイト組織が発生すると、これはフェライト組織と同様に強磁性を示す。そこで、溶着金属は、上述の如き塑性変形を生じたとしてもマルテンサイト組織を誘発しないようにすべきであるが、これを達成するには、第3図の直線Lより上方の完全オーステナイト組織を有するにしなければならない。そこで、溶着金属の化学組成は、Ni当量 = $\text{Ni (重量\%)} + 30 \times \text{C (重量\%)} + 0.5 \times \text{Mn (重量\%)} + 0.5 \times \text{Cr (重量\%)} + 1.5 \times \text{Si (重量\%)} + \text{Mo (重量\%)}$ とするとき、次式を満足しなければならない。

2 mの管上にロール加工し、継目部分に管内面27、管外面側23の開先比で60度のX開先を機械加工した。

次に、管内面側の開先に6層の被覆アーク溶接した後、管外面側から溶接開先に付つてアークエアガウジングを用いて裏はつりし、さらに裏はつり面をグラインダで仕上げて、管外面側の開先に5層の被覆アーク溶接した。本実施例の超電導コイル用ボビンには、超電導核磁気共鳴装置として高精度の均一磁場が要求されるので、その断面形状が一様な内外径を持ち真円となるように、室温で管内外面を機械加工により削り出し、肉厚約10 mmとした。

その結果、溶接高温割れ等の欠陥もなく、金属部材と溶着金属の4.2 Kでの磁界強さ0.5 T以上における透磁率がいずれも1.01以下の変れたボビンを製作できた。

(実施例3)

第7～10図は超電導核磁気共鳴装置における超電導コイルとボビンを冷却保持する液体He容

器における本発明の実施例とその製作状況を示す。外径寸法は直径約1m長さ約2mである。胴体用金属部材21'と21"およびフランジ23と24には、第6表に示す化学組成を有するSUS316LN鋼板を用いた。胴体用金属部材21'と21"それぞれの突合せ溶接には、第1表の本発明用溶接棒Eを用い、電流140A、電圧24V、溶接速度14cm/min、極性棒プラスの条件で、60度のX開先に、被覆アーク溶接により突合せ溶接して溶着金属22'、22"を形成した。胴体用金属部材21'、22"とフランジ23、25のすみ肉溶接には、第1表の本発明用溶接ワイヤBを用い、シールドガスとして純度99.999%のアルゴンを8L/min流し、電流120A、電圧10V、溶接速度15cm/minの条件で溶接し、溶着金属4、6を形成した。以下に製造工程の詳細を示す。

本実施例の液体He容器は、内筒と外筒を有する。まず、内筒においては板厚25mmのSUS316LN鋼板を用いて胴体用金属部材21'を

第8図は、内筒の胴体用金属部材1'にフランジ3をTIG溶接により円周溶接した状態を示す。円周溶接はフランジの両側から2層ずつ施工した。

第9図は、外筒の胴体用金属部材21"にフランジ25をTIG溶接により円周溶接した状態を示す。円周溶接は、上述の内筒の場合に同じく、両側から2層ずつ施工した。

さらに、第8図の内筒においては、フランジを溶接した後で、超電導コイルを管外面側に巻いた実施例1のボビンを、その管外面側に隙間ばめで固定できるように、前記内筒の外面側を室温で機械加工し溶その肉厚を約10mmとした。

第10図は、外面側に上述の如く超電導コイル用ボビンを固定した内筒を、第9図の外筒に挿入して、フランジ25と胴体用金属部材1'及びフランジ23と胴体用金属部材21"を外側から各2層のTIG溶接を実施して、溶着金属7と8を形成し、液体He容器を完成したものである。

この結果、溶接高温割れ等の欠陥もなく、金属部材と溶着金属の4.2Kでの磁界強度0.5T以上

実施例1と同様の方法でロール加工し半円筒上のものを2体加工し、両者を突合せて管状にしたときの継目部分に管内面側27、管外面側23の開先比で60度のX開先を機械加工した。その後、管内面側の開先に6層の被覆アーク溶接を実施して、管外面側からアークエアガウジングにより裏はつりし、裏はつり面をグラインダで仕上げて、管外面側の開先に5層の被覆アーク溶接を実施して第7図の形状の内筒とした。

次に、外筒においては板厚8mmのSUS316LN鋼板を用いて、胴体用金属部材1"を実施例1と同様の方法でロール加工し、実施例1のボビンを外側に隙間ばめした上述の内筒と冷却用の液体Heを収納できるような形状となるような寸法の半円筒上のものを2体加工し、両者を突合せて管状にしたときの継目部分の管内面側に60度のV開先を加工した。その後、管内面側より3層の被覆アーク溶接を実施、前述と同様の裏はつりと仕上げを行なった後で、管外面側より1層の被覆アーク溶接を実施して、第7図の形状の外筒とした。

における透磁率がいずれも1.01以下の優れた液体He容器を製作できた。

〔発明の効果〕

本発明によれば、超電導核磁気共鳴装置のコイル巻棒及び容器における母材とその溶着金属のいずれにおいても、4.2Kでの磁界強度0.5T以上における透磁率を1.01以下とすることができ、均一な磁界を得ることができる。

図面の簡単な説明

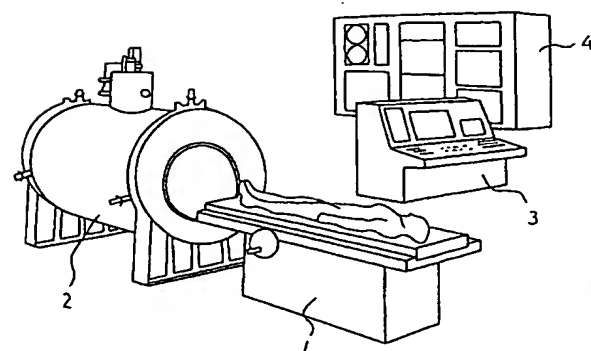
第1図は超電導核磁気共鳴装置システムを示す斜視図、第2図は超電導磁石の断面構成図、第3図は溶着金属の組織と4.2Kでの透磁率の関係を示す線図、第4図はオーステナイト系ステンレス鋼のNi含有量と4.2Kでの透磁率の関係を示す線図、第5図は溶着金属の組織と4.2K引張試験での加工誘起マルテンサイト量を示す線図、第6図は本発明の一実施例を示す超電導コイル用巻棒(ボビン)、第7～10図は本発明の他の実施例の例を示す液体He容器の製作状況を示す斜視図である。

2…超電導磁石、11…磁界コイル、12, 13
…補正コイル、14…円筒状外殻、16, 17…
巻棒体(ボビン)、19…管状支持部材、21,
21', 21''…胴体用金属部材、22, 22',
22''…胴体の突合せ溶接による溶着金属、23,
25…フランジ。

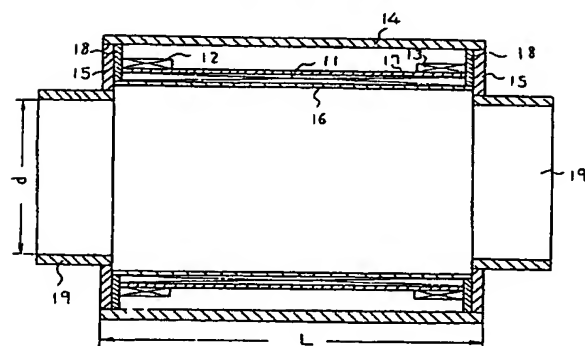
代理人 井堀士 高橋明夫



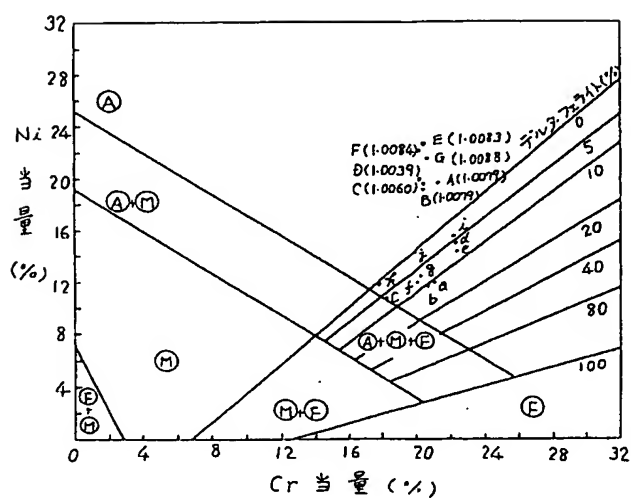
第 1 図



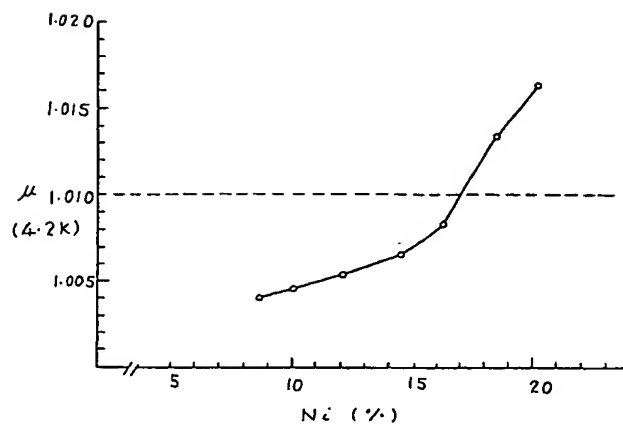
第 2 図



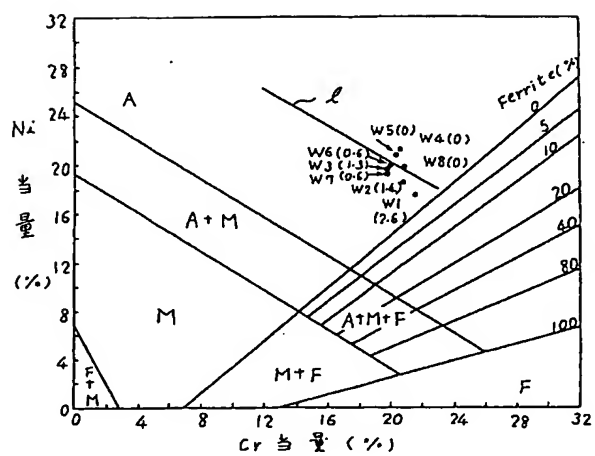
第 3 図



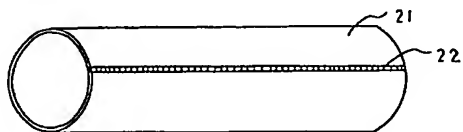
第 4 図



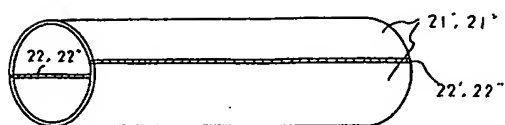
第 5 図



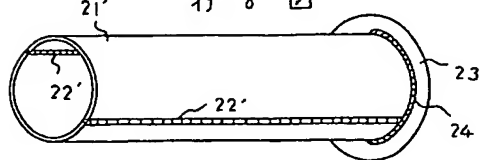
第 6 図



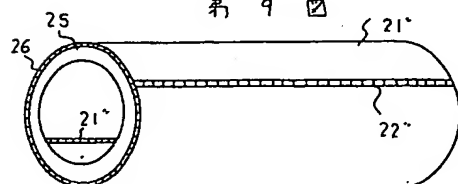
第 7 図



第 8 図



第 9 図



第 10 図

